

## МАССОВЫЙ РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОУДАРЕНИЯ АСТЕРОИДОВ: МЕТОДЫ, ПОДВОДНЫЕ КАМНИ, СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

И. А. Баляев

*Санкт-Петербургский государственный университет*

В настоящем исследовании рассматривается проблема расчета вероятностей соударения большого числа астероидов. Сравнивается эффективность трех методов, основанных на методе Монте-Карло. Также результаты сравниваются с полученными методом LOV и опубликованными на сайте NASA.

## MASS CALCULATION OF ASTEROID COLLISION PROBABILITIES: METHODS, PITFALLS, COMPARISON OF RESULTS

I. A. Balyaev

*Saint Petersburg State University*

In this study, we consider the problem of calculating impact probabilities for a large number of asteroids. The effectiveness of three methods based on Monte Carlo is compared. The results are also compared with those obtained by the LOV method and published on the NASA website.

На сегодня открыто более 24 000 околоземных астероидов, из них около 3 000 открыто за последний год и 2 500 — за предпоследний. Учитывая предстоящий запуск проекта LSST (первый свет ожидается в 2021 г.), вероятно дальнейшее ускорение. Оценка вероятностей соударения требует все больших вычислительных ресурсов. Около года назад на кафедре небесной механики СПбГУ был разработан высокооптимизированный алгоритм для расчета траекторий и сближений с планетами большого числа виртуальных астероидов по упрощенной модели движения. Несмотря на упрощение, тестирование на 200 околоземных астероидах показало хорошее согласие с результатами NASA для астероидов, орбита которых известна со средней точностью:  $10^{-3}$ — $10^{-7}$  AU по большой полуоси. По-видимому, размер области неопределенности играет в этом случае значительно большую роль, чем неучтенные возмущения. Особенность новой программы — возможность расчета вероятности соударения сразу со всеми планетами Солнечной системы без заметного падения производительности.

Для массового расчета вероятностей соударения выбрано три метода, которые будут сравниваться между собой: простой метод Монте-Карло; модифицированный метод, использующий информацию о шестимерной структуре области неопределенности; модифицированный метод, использующий возможности машинного обучения. Преимуществом последнего является возможность эффективного использования графического процессора, однако надежность результата под наибольшим вопросом. Простой метод Монте-Карло самый честный, поэтому, хотя точность результата очень ограничена из-за распределения вычислительного ресурса на большое число астероидов, может использоваться в качестве контрольного. Наиболее вероятные соударения отлично видны даже при небольшом количестве виртуальных астероидов.

С осторожностью полученные результаты могут быть использованы непосредственно. Сделанные упрощения модели движения, допущения в отношении области неопределенности и погрешность самого метода легко могут дать неверное представление об опасности конкретного астероида. Тем не менее сравнение с результатами NASA не показывает

принципиальных отличий, за редким исключением. С использованием высокой производительности новой программы предполагается тестировать различные вариации методов, а в перспективе реализовать лучшие из них в более точной модели движения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-32-90149.